

# НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АКТИВНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

Л.П. Брагинская, А.П. Григорюк, С.В. Кратов

*Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН*

**Аннотация.** В работе представлена web-ориентированная научная информационная система для комплексного информационного обеспечения теоретических и экспериментальных исследований сейсмических и акустических волновых полей в активной сейсмологии, включая мониторинг природных сейсмических и вулканических процессов. НИС охватывает все основные этапы научных исследований: эксперимент, моделирование, библиографию, публикацию результатов и их обсуждение. Открытый доступ к системе через Интернет осуществляется по адресу <http://org.sccc.ru>.

**Ключевые слова:** активная сейсмология, научная информационная система, вычислительные информационные системы, базы данных.

## 1. Постановка задачи. Современное состояние исследований в предметной области

Целью создания представляемой научной информационной системы (НИС) является решение фундаментальной научной проблемы, связанной с интеграцией и предоставлением пользователям данных и знаний в области активной сейсмологии. Изучение пространственных закономерностей распределений геофизических полей и их временных вариаций является важной составляющей в познании природы сейсмического процесса, изучения глубинного строения геологической среды, локализации очаговых зон землетрясений, уточнения формы и размеров локальных магматических структур [1].

Активная сейсмология является новым направлением в геофизике, в котором для изучения строения земной коры и исследования геодинамических процессов в зонах землетрясений и вулканов используются управляемые источники сейсмических волн – мощные сейсмические вибраторы, гидромеханические и электромагнитные импульсные источники [2].

Работы по активной сейсмологии проводятся во всем мире в последние три десятилетия. В настоящее время возникла международная кооперация по развитию теории, техники и методики активной сейсмологии, а также по организации сети полигонов активного геофизического мониторинга в США (Паркфилд), Исландии, Греции (Коринфский полигон), России (Быстровский, Байкальский), Японии (Тоно). Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН участвует в экспериментах по активному мониторингу литосферы, начиная с 1995 г. В период 2010-2013 гг. в ИВМиМГ СО РАН получены значительные результаты по развитию методов активной сейсмологии, в частности, многовекторного вибросейсмического мониторинга сейсмогенных территорий и исследования геодинамических процессов в активированных зонах вулканов [3]. В рамках экспериментальных исследований проводился вибросейсмический мониторинг литосферы в Алтае-Саянском регионе, Байкальской рифтовой зоне и Таманской грязевулканической провинции.

К настоящему времени в области активной сейсмологии накоплен большой объем информации по всем составляющим метода, включая вопросы теории метода, создания управляемых источников, результатов экспериментальных работ, результатов математического моделирования [4, 5]. Этот материал представлен в разрозненных источниках – статьях, монографиях, отчетах, на сайтах институтов и др. Целью создания Интернет-ориентированной научной информационной системы является обеспечение структурирования этой информации и организации доступа к ней. Кроме того, НИС должна обеспечить хранение, извлечение, анализ и визуализацию результатов экспериментальных и синтетических данных, а также хранение, извлечение и визуализацию результатов численного моделирования (снимков волнового поля), полученных в ИВМиМГ СО РАН. Возможность сравнительного анализа времен вступлений основных групп волн на теоретических и экспериментальных сейсмограммах позволит решить одну из основных задач геофизического мониторинга – задачу верификации существующих геофизических моделей среды. Также для полной формализации знаний в области активной сейсмологии в рамках создания НИС предлагается построение предметно-ориентированной онтологии данной области, способствующей интеграции в рамках системы разнородных информационных ресурсов на концептуальном уровне, обеспечивая единый подход к описанию их семантики.

## 2. Предлагаемые методы и подходы. Информационно-вычислительные компоненты НИС

Непосредственная задача, которую должна решить создаваемая научная информационная система – интеграция и предоставление пользователям данных и знаний в области фундаментальных научных исследований физики сейсмического процесса, изучения пространственного распределения очагов

сейсмических событий, глубинного строения геологической среды, уточнения формы и размеров локальных магматических структур.

Наряду с экспериментальными данными важной частью системы будет база данных результатов проведенных расчетов по численному моделированию с возможностью поиска и визуализации в режиме on-line (см. Рис. 1). Решение задач моделирования с учетом трехмерного строения среды и наличия дополнительных факторов (анизотропии, трещиноватости, аномального поглощения, наличием резко контрастных сред и т.д.) является ресурсоемким и даже для современных многопроцессорных систем требует больших затрат времени. В этой связи актуально создание базы данных результатов проведенных расчетов по численному моделированию, которая может дать возможность правильно построить стратегию необходимых расчетов для уточнения влияния того или иного фактора на структуру волнового поля исследуемого объекта, провести дополнительные расчеты при появлении новых алгоритмов и программ, учитывающих особенности строения среды.

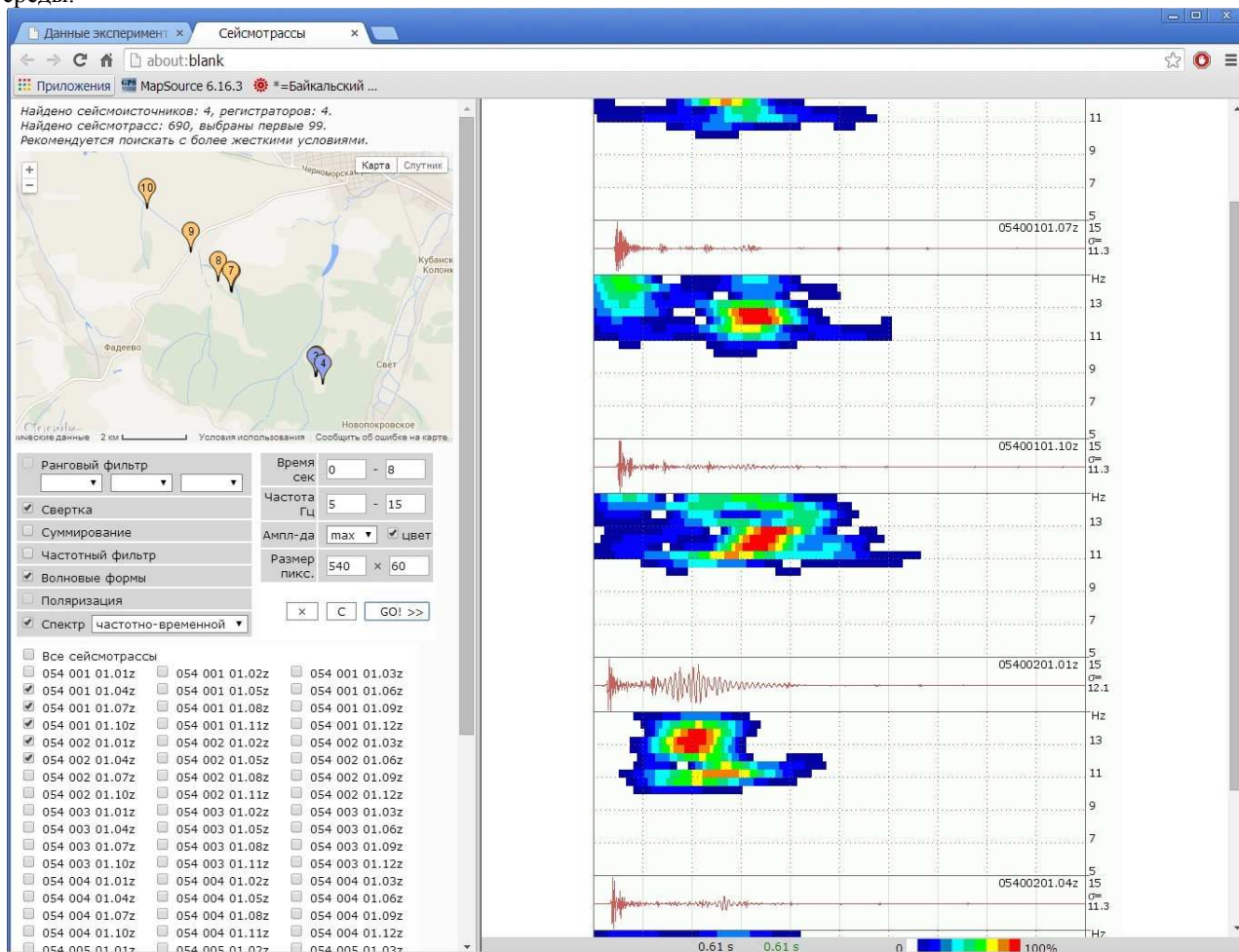


Рис. 1. Работа с информационно-вычислительной системой в режиме on-line

Также задачей НИС является развитие методов обработки и интерпретации многопараметрических геофизических данных с использованием новых информационных технологий. В соответствии с этими задачами НИС [6] содержит слой экспериментальных данных, информационный и вычислительный слой, слой знаний, представленный тематическим каталогом и электронной библиотекой полнотекстовых статей с возможностью её пополнения пользователями. В НИС интегрируются разработанные ранее информационные и вычислительные ресурсы по активной сейсмологии, такие, как:

- информационно-вычислительная система (ИВС), обеспечивающая пользователей многопараметрическим поисковым, вычислительно-аналитическим и ГИС сервисами для on-line доступа к экспериментальным данным сейсмического мониторинга. База данных ИВС содержит данные инструментальных наблюдений, включая метаданные, полученные в ходе экспериментов по вибросейсмическому просвечиванию Земли и в ходе регулярного сейсмического мониторинга Камчатки;
- пополняемая пользователями база данных научных работ – электронная библиотека, содержащая тезисы и полные тексты статей, комментарии пользователей, информацию об авторах и научных организациях;

- пополняемый пользователями библиографический каталог публикаций с возможностью поиска по авторам, названию, году издания.

### 3. Предлагаемые методы и подходы. Web-компоненты НИС

Разрабатываемая научная информационная система для теоретических и экспериментальных исследований волновых полей обеспечит комплексную поддержку научных исследований в области активной сейсмологии, охватив все основные этапы: эксперимент, моделирование, обсуждение и публикацию результатов. Комплексный подход к информационному обеспечению научных исследований в области активной сейсмологии является новым решением, аналоги среди отечественных и зарубежных Интернет-ресурсов авторам неизвестны. Данное решение значительно повышает интерес пользователей, привлекает к участию в работе НИС как ведущих ученых в данной области науки, так и молодых исследователей и специалистов, позволяет обеспечить релевантность, полноту и актуальность информации. В настоящее время существуют системы для on-line доступа к данным геофизического мониторинга, например, Seismic Monitor для работы с данными сейсмической сети GSN, web-интерфейс на сайте IRIS (<http://www.iris.edu/dms/seismon.htm>). Примером Интернет-ресурса, предоставляющего доступ к базе данных результатов математического моделирования, также может служить портал «Атмосфера и окружающая среда» (<http://atmos.iao.ru>). Однако в плане функциональности подобные системы значительно уступают информационно-вычислительной системе, созданной в ИВМиМГ СО РАН (совместно с КФ ГС РАН) и входящей в состав разрабатываемой НИС.

В Интернете также представлены пополняемые пользователями научные электронные библиотеки – базы данных публикаций. В отдельных случаях такие ресурсы обладают и функциями социальной сети, обеспечивающими взаимодействие между пользователями. В качестве примера можно привести научную библиотеку Public Library of Science – PloS ([www.plosone.org](http://www.plosone.org)), созданную в 2003 году в США. В последние несколько лет предпринимаются попытки создания аналогичных ресурсов, ориентированных на российских пользователей: [www.scipeople.ru](http://www.scipeople.ru), [www.science-community.org/ru](http://www.science-community.org/ru), [www.allscience.ru](http://www.allscience.ru) и другие. Основным отличием разрабатываемой НИС от перечисленных выше "глобальных" ресурсов является её ориентированность на конкретную область исследований. Находясь в пространстве узкоспециализированной научной сети, пользователи с большей вероятностью могут рассчитывать на налаживание связей и общение с коллегами, на получение комментариев и оценок от экспертов в предметной области. Особенностью научного сообщества, занимающегося исследованиями в области активной сейсмологии, является то, что круг этих исследователей известен и консолидирован. Выпускаются коллективные монографии, проводятся конференции по данной предметной области. В частности, такая консолидация обусловлена и тем, что на сегодняшний момент на территории РФ работают всего два вибросейсмических полигона, Бабушкинский, на Байкале, и Быстровский, в НСО. Авторами НИС «Активная сейсмология» являются более 50 ученых, представляющих все основные научные организации РФ, развивающие методы активной сейсмологии. Таким образом, создается уникальная возможность интеграции всех научных знаний по активной сейсмологии, представленных научными отчетами, статьями и т.д. В целом НИС разрабатывается в соответствии с принципами Web 2.0, что позволяет не просто лучше обслуживать информационные потребности пользователей, но и активно вовлекать их во взаимодействие – как друг с другом, так и с самим Интернет-ресурсом. Предполагаемый круг пользователей НИС:

- учёные-геофизики, работающие над решением фундаментальных проблем сейсмологии, сеймотектоники и вулканологии, над изучением глубинного строения геологической среды;
  - научные сотрудники и инженеры, проводящие работы по мониторингу сейсмических полей Земли в сейсмо- и вулканопасных регионах;
  - студенты и аспиранты геофизических специальностей ВУЗов.
- Предполагаемое число постоянных пользователей – около 300.

### 4. Полученные результаты. Направления дальнейшего развития НИС

В настоящее время разработана структура НИС, в нее интегрированы ранее созданные информационно-вычислительные системы и Интернет-ресурсы, создана база данных результатов численного моделирования и начато ее заполнение. Ведется опытная эксплуатация НИС. Система установлена на выделенном web-сервере в ИВМиМГ РАН и опубликована в сети Интернет в открытом доступе (<http://opg.sssc.ru>). На текущий момент в системе зарегистрированы около 50 пользователей из ведущих научных организаций в области геофизики: ИФЗ им. О.Ю. Шмидта, Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, ИВМиМГ СО РАН, ФГУП "СНИИГГиМС", Камчатской геофизической службы, Института морской геологии и геофизики ДВО РАН, МГУ, Кубанского госуниверситета, Кабардино-Балкарского госуниверситета и др. Ведущие ученые публикуют свои статьи, участвуют в дискуссиях, отвечают на вопросы коллег. Также на сервере ежедневно фиксируется до нескольких десятков "гостей" из России, КНР, Японии, США.

Созданные Интернет-ресурсы, опыт, накопленный в процессе их разработки и администрирования, а также база данных экспериментальных работ в области активной сейсмологии и математического моделирования волновых полей являются основой для дальнейшего развития НИС. Запланирована разработка и интеграция в НИС следующих информационных и вычислительных ресурсов:

- структурированный каталог геофизических моделей, для которых проведено численное моделирование;
- структурированный файловый архив снимков волнового поля, являющихся результатами математического моделирования в области активной сейсмологии (распространение упругих волн от точечного источника в моделях трехмерных упругих сред, моделирование магматических камер произвольной геометрии с учетом глубинных разломов в районе вулканов, моделирование нелинейных волновых процессов геологических разломов и т. п.);
- структурированный архив синтетических сейсмограмм, являющихся результатом численного моделирования и база метаданных (ключевые параметры);
- web-приложение, обеспечивающее взаимодействие пользователя с системой при выполнении запросов на поиск и анализ синтетических сейсмограмм в режиме on-line, визуализацию результатов, загрузку отдельных фрагментов данных на компьютер пользователя для последующей локальной обработки;
- вычислительный модуль для статистического анализа синтетических сейсмограмм во временной, частотной, частотно-временной и пространственной областях на основе классических и оригинальных алгоритмов, разработанных в ИВМиМГ СО РАН. Для вычислений в режиме on-line, в модуле будет использован графический процессор NVIDIA Tesla;
- пополняемый пользователями каталог тематических отечественных и зарубежных Интернет-ресурсов.

Структурирование информации, накопленной в НИС, предполагается проводить на основе семантического анализа и составления онтологии предметной области. Для этого будет произведена обработка и анализ всего накопленного массива информационных материалов (тематического каталога и электронной библиотеки полнотекстовых статей), вычленение отдельных понятий, определение их свойств и ограничений, накладываемых на них, с последующим их расположением в таксономическую иерархию. Для этих работ предлагается использование модели RDF (Resource Description Framework). Полученная предметно-ориентированная онтология будет содержать возможно полный тезаурус активной сейсмологии, будет способствовать интеграции разнородных информационных ресурсов в рамках системы на концептуальном уровне, обеспечивая единый подход к описанию их семантики. На ее основе будет осуществлена реорганизация информационного наполнения системы, построение ее рубрикатора. Рубрикатор электронной библиотеки будет составлен на основе созданного в рамках предлагаемого проекта тезауруса активной сейсмологии в виде RDF Schema, что в перспективе облегчит доступ к нему и его интеграцию с иными подобными системами. Для записи семантики активной сейсмологии в виде онтологии с целью последующей организации доступа к ней через Интернет предлагается использование языка описания онтологий OWL (Web Ontology Language). В перспективе это позволит улучшить общее понимание структуры всего массива накопленной информации, даст возможность повторного использования знаний в области активной сейсмологии, позволит совместно использовать их людьми и программными агентами. На сегодняшний день какие-либо онтологии в области активной сейсмологии авторам проекта неизвестны.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-07-00832.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Тубанов Ц.А., Толочко В.В., Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Базаров А.Д. Вибросейсмические исследования литосферы Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий // Отечественная геология. - Москва: Издательство ЦНИГРИ, 2013. - 3: - С. 16-24.
2. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками // Отв.ред. Г.М. Цибульчик. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Издательства СО РАН, 2004.
3. Экстремальные природные явления и катастрофы. Т. 1: Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений, Отв. ред. А.О. Глико; отв. сост. А.Л. Собисевич; ИФЗ РАН – М.: ИФЗ РАН, 2010. // Б.Г. Михайленко, и др. Методы активной сейсмологии в задачах мониторинга глубинного строения Земли. – С. 89 -130.
4. Караваев Д.А., Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Мартынов В.Н. Численное моделирование и экспериментальные исследования грязевого вулкана «Гора Карabetова» вибросейсмическими методами // Вычислительные методы и программирование. - Москва: Изд-во МГУ, 2010. - 11: - С. 95-104.
5. Фатьянов А.Г. Аналитическое моделирование сейсмических волновых полей и волновой метод подавления кратных волн // Технологии сейсморазведки. 2010. - 2: - С. 16-22.
6. Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Информационная система для комплексной поддержки научных исследований в области активной сейсмологии // Вестник КемГУ. 2012 -4: - С. 43-48.
7. Ковалевский В.В., Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Информационно-аналитическая система для вибросейсмических исследований. // Проблемы информатики, №3, Новосибирск, 2013, С. 22-29